

# ロケット航跡におけるプラズマ擾乱と航跡内UHR波動の発生メカニズム

## Plasma turbulence and generation mechanism of UHR waves inside the rocket wake

# 山本 真行[1], 小野 高幸[2], 大家 寛[3]

# Masa-yuki Yamamoto[1], Takayuki Ono[2], Hiroshi Oya[3]

[1] 東北大・理・地物, [2] 東北大・理, [3] 福井工大・宇宙通信

[1] Astronomy and Geophys., Tohoku Univ., [2] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ., [3] Space Commu. Fukui Univ.

プラズマ中をロケットが超音速飛翔するため発生するwake中にはプラズマ密度低減の他、様々なプラズマ擾乱が発生しており航跡内にて発見されたUHR波動の発生メカニズムに関わる重要な課題である。静穏な中緯度電離圏におけるロケット観測結果中には航跡中のプラズマ特性周波数に依存するUHR波動が確認された。発生した波動は航跡cavity構造に沿って伝播し観測されると解釈される。電子温度測定結果から航跡中での高い電子温度分布が得られ激しいプラズマ擾乱の発生を示唆する結果を得た。ここでは航跡中でのプラズマ擾乱が航跡中心領域において2流体不安定型のプラズマ不安定を起こしUHR波動を発生させるというメカニズムを提案する。

### 1. はじめに

航跡内におけるUHR波動の発生メカニズムは、飛翔体とプラズマの相互作用として航跡効果に伴うプラズマ擾乱に関わる重要なテーマである。ロケット観測によって航跡に伴うUHR波動が発見されたことによって、ロケット飛翔に伴う航跡効果は電離層プラズマ密度の直接計測における問題にとどまらずプラズマ波動観測においても重要な研究課題であることが明らかになってきた(山本他, 第104回地球電磁気・地球惑星圏学会講演予稿集C42-06, 1998)。また航跡構造モデルを用いた計算と直接計測データとの比較によりロケット航跡密度構造を正確に求めることが可能になった(山本他, 第108回地球電磁気・地球惑星圏学会講演予稿集B22-06, 2000)。

### 2. 航跡内におけるUHR波動の観測

1994年12月1日にノルウエーのアンドーヤ実施された極域電離圏におけるS-520-21号ロケット実験により航跡中のプラズマパラメータに依存する周波数領域にUHR波動と考える波動が発見されたが、ロケット姿勢が複雑な形態を取ったため観測された波動の厳密な解釈には未解決の問題が残されていた。航跡中のプラズマパラメータに依存するUHR波動について、その存在を確認し発生メカニズムを明らかにするため、静穏な中緯度電離圏における確認実験が実施された。1998年2月5日に鹿児島スペースセンターから打上げられたSS-520-1観測ロケットにおいては、搭載したプラズマ波動観測装置(PWM-W)によってHF帯プラズマ波動観測を実施し、中緯度プラズマ圏において「あけぼの」衛星などで常に観測されているUHR波動の観測下限高度について調査するとともに、航跡中における波動現象についての確認実験をオーロラ粒子の降り込みなどアクティブな条件にない静穏な中緯度電離圏において実施した。静穏な中緯度電離圏において観測されたプラズマ波動は、航跡中のプラズマ特性周波数と比較検討した結果、航跡内で励起されたUHR波動であることが確認された。発生したUHR波動は航跡構造によるcavity内を伝播しロケット搭載プラズマ波動観測装置によって観測されると解釈される。またロケット飛翔の最高々度750km付近では、wake外の周辺プラズマ中に発生しているUHR波動も同定され「あけぼの」衛星で観測されている自然UHR波動成分が微弱ながら確認された。この結果、航跡によるプラズマ波動との分離などに困難は残るが、UHR波動を発生させる自由エネルギーの侵入の下限高度は500km程度であることが明らかとなった。

### 3. 航跡における電子温度分布の推定とプラズマ擾乱

さらに1999年2月2日にKSCにおいて実施されたS-310-28ロケット実験においてインピーダンスプローブによるシース容量の測定データを用いて電子温度を求めた。航跡中における電子温度の特性を解析した結果、航跡領域内において従来から報告のある様な電子温度の上昇が見出され、航跡中における電子温度が周辺プラズマにおける電子温度より高いという結果を得た。さらに注目すべき現象として、航跡境界付近において電子温度上昇を示す領域が新たに確認された。この現象はプローブが航跡境界を突き抜けてその密度勾配方向に向いた際、プローブ根元の1/6のみが航跡領域に、他の部分が周辺プラズマ領域にある時に観測されており、プローブのリニアな感度特性を仮定した場合、航跡構造の最深部は1800Kの温度であったと推定される。これらの事実は境界領域の密度勾配により激しいプラズマ擾乱が起きていることを示唆しており、航跡中でのプラズマ擾乱が引き起こすプラズマ不安定によるUHR波動が存在するとした仮説を支持する結果を得た。さらに航跡内で発生するUHR波動については、航跡領域に周辺プラズマが流入する際に遮蔽物両側の境界領域から流入したプラズマ流が航跡中心領域において2流体不安定型のプラズマ不安定を起こし波動を発生させるというメカニズムが提案された。